

Aleksi Orava

# National Instrumentsin robotista kännykällä ohjattava versio

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

27.5.2012

Tekijä Otsikko	Aleksi Orava National Instrumentsin robotista kännykällä ohjattava versio
Sivumäärä Aika	25 sivua 27.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Ohjaaja	koulutusvastaava Janne Mäntykoski
<p>Tässä insinöörityössä kehitettiin National Instrumentsin ultraäänisensorilla varustettua robottia. Sen ensimmäistä langatonta versiota kehitettiin vuonna 2012 Metropolia Ammattikorkeakoulun innovaatioprojektina. Innovaatioprojektissa robotti saatiin toimimaan langattomasti tietokoneen välityksellä, mutta kännykällä toimivan kokoonpanon ohjaus osoittautui tuolloin haasteelliseksi. Tämän insinöörityön tavoitteeksi asetettiin täysin langaton kommunikointi robotin ja kännykän välille.</p> <p>Työn toteutukseen tarvittiin MBED-mikrokontrollerimoduuli ja langaton WLAN-moduuli, jotka liitettiin suoraan robotin piirikorttiin kiinni. Ohjausdatan välittämiseksi moduulille pohdittiin erilaisia ratkaisuja. Työssä selvitettiin robotin piirikortin sekä lisätyn mikrokontrollerimoduulin tukemia yhteyskäytäntöjä ja valittiin niistä sopiva vaihtoehto.</p> <p>Robottiin lisättyyn MBED-mikrokontrollerimoduuliin toteutettiin sisäinen http-palvelin toisen Metropolia Ammattikorkeakoulun opiskelijan insinöörityönä. Sisäisen palvelimen avulla robottia pystytään ohjaamaan millä tahansa laitteella, jossa on WiFi-yhteys ja nettiselain. Innovaatioprojektissa tehtyyn ohjauskoodiin jouduttiin tekemään muutoksia muuttuneen yhteyskäytännön vuoksi.</p> <p>Robotin ohjaamiseen tarvittavaa SPI-väylää ei saatu toimimaan pääohjelman rajoitusten takia. Ongelmaan löydettiin mahdollinen ratkaisu, mutta aikataulusta ja resursseista johtuen korjausta ei voitu toteuttaa. Insinöörityön tavoitetta ei saavutettu ohjelmisto-ongelmien takia.</p> <p>Työ tehtiin National Instrumentsin tilauksesta heidän lokakuun 2013 messutapahtumaansa. Robotista on pohdittu jatkoprojektia, jossa siihen lisättäisiin Kinect-liiketunnistin hitaan ultraäänianturin tilalle sekä korjattaisiin ohjelmisto-ongelma.</p>	
Avainsanat	http, Kinect, MBED, National Instruments, robotti, WiFi

Author Title	Aleksi Orava Wireless Version of a National Instruments Robot
Number of Pages Date	25 pages 27 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electronics
Instructor	Janne Mäntykoski, Senior Lecturer
<p>The goal of this thesis was to develop a wireless version of a National Instruments ultrasound robot which can be controlled by a smartphone with WiFi-connection and any browser. The first version of the robot was developed in 2012 by Metropolia University innovation group. The version was a success but full wireless support could not be implemented at the time and the robot could only be controlled by a pc.</p> <p>To achieve wireless controllability, a MBED-microcontrollermodule and a WiFi-module was connected directly to the robot hardware. Different methods of data transfer techniques were considered and the optimal method was chosen for the project. A http-server was implemented in the MBED-microcontrollermodule so that the robot could be controlled by any device with WiFi-connection and a web-browser. Changes had to be done to the code of the robot which the innovation group created. Data handling protocol was added to the code of the robot along with other small changes.</p> <p>The goal of this project was not reached. SPI-protocol could not be implemented because of the limitations of the robot software. A solution to this problem was found but because of the time limitations and limited resources the solution could not be done.</p> <p>This project was commissioned by National Instruments. The robot will be used in a special trade show in October 2013. Further development is also considered in this project. A future project with this robot may include the replacement of the ultrasound-detector by a Kinect-sensor. A fix for the software must also be done in the future project.</p>	
Keywords	http, Kinect, MBED, National Instruments, robot, WiFi

## Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ultraäänirobotti	1
2.1	Single-Board RIO 9631 -piirikortti	1
2.2	LabVIEW-ohjelmointiympäristö	3
2.3	FPGA-piirit	3
2.4	Ultraäänisensori	4
2.5	Innovaatioprojekti	5
3	Dataväylät	7
3.1	SPI-väylä	7
3.2	UART-väylä	8
4	Mbed-mikrokontrollerimoduuli	8
5	Radioyhteys	9
5.1	Radiotekniikan historiaa	9
5.2	Sähkömagneettinen säteily	10
5.3	WiFly-moduuli	11
5.4	802.11-standardi	12
6	Piirilevyn valmistus	12
6.1	Piirilevyn suunnittelu	12
6.2	Jyrsintä	16
6.3	Viimeistely ja testaus	18
7	Robotin ohjelmisto	20
8	Lopputulokset	22
9	Robotin jatkokehitys	24
	Lähteet	25

## Lyhenteet

ARM	Advanced RISC Machines; mikroprosessoriarkkitehtuuri
CAN	Controller Area Network; automaatioväylä
DIO	Digital in-out; robotin piirikortilla oleva digitaalinen sisään/ulostulo -nasta
FPGA	Field-Programmable Gate Array; uudelleen ohjelmoitava digitaalinen mikropiiri
I2C	Inter-Integrated Circuit; kaksisuuntainen tiedonsiirtoväylä
RISC	Reduced Instruction Set Computer; suoritin arkkitehtuurien suunnittelufilosofia
SPI	Serial Peripheral Interface Bus; synkroninen sarjaväylä
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter; laite joka muuttaa dataa sarjamuodosta rinnakkaismuotoon tai toisinpäin
USB	Universal Serial Bus; tietokoneen oheislaitteiden sarjaväyläarkkitehtuuri
WEP	Wired Equivalent Privacy; langattoman lähiverkon salaustekniikka
WiFi	Wireless Fidelity; WiFi Alliancen omistama tavaramerkki
WLAN	Wireless Local Area Network; langaton lähiverkko
WPA	Wi-Fi Protected Access; langattoman lähiverkon salaustekniikka
WPA2	Wi-Fi Protected Access 2; langattoman lähiverkon salaustekniikka

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä käsitellään National Instrumentsin ultraäänirobotin jatkokehitystä ja sen toteutusta. National Instruments on amerikkalainen laajasti maailmalle levinnyt yhtiö. Se valmistaa mittauslaitteistoja ja on tunnettu graafisesta labVIEW-ohjelmistoympäristöstä. Työn on tilannut National Instruments, ja sen on määrä valmistua vuoden 2013 lokakuun messutapahtumaan.

Työ on jatkoprojekti vuonna 2012 Metropolia Ammattikorkeakoulussa olleesta elektronikan innovaatioprojektista. Siinä National Instrumentsin ultraäänirobotista tehtiin langaton versio, jota voitiin ohjata tietokoneen avulla. Innovaatioprojektin yksi alkuperäisistä tavoitteista oli saada robotti toimimaan kännykän välityksellä. Kännykällä ohjauksen toteutuksessa kohdattiin kuitenkin haasteita eikä kännykkäohjausta pystytty toteuttamaan. Tämän insinööriyön tavoitteeksi asetettiin robotin ohjaaminen kännykän avulla.

Aihe on valittu monipuolisuuden vuoksi. Se käsittelee ohjelmiston ja piirilevyn suunnittelua. Työssä suunnitellaan piirilevy, johon liitetään mbed-mikrokontrolleri ja WiFly WiFi-moduuli. Suunniteltu piirilevy liitetään kiinni suoraan robotin piirikortille. Robotin piirikortin ja lisätyn mikrokontrollerin välille mietittiin erilaisia yhteyskäytäntöjä sekä niiden hyötyjä ja haittoja.

Mbed-mikrokontrolleriin lisätään sisälle http-palvelin toiminnallisuuden vuoksi. Robotille välitetään ohjaustietoja palvelimelta ja palvelimeen voidaan muodostaa yhteys millä tahansa laitteella, jossa on WiFi-yhteys ja nettiselain. Http-palvelinta ollaan toteuttamassa Metropolia Ammattikorkeakoulussa insinööriyönä, jota tekee Elmo Aho.

## 2 Ultraäänirobotti

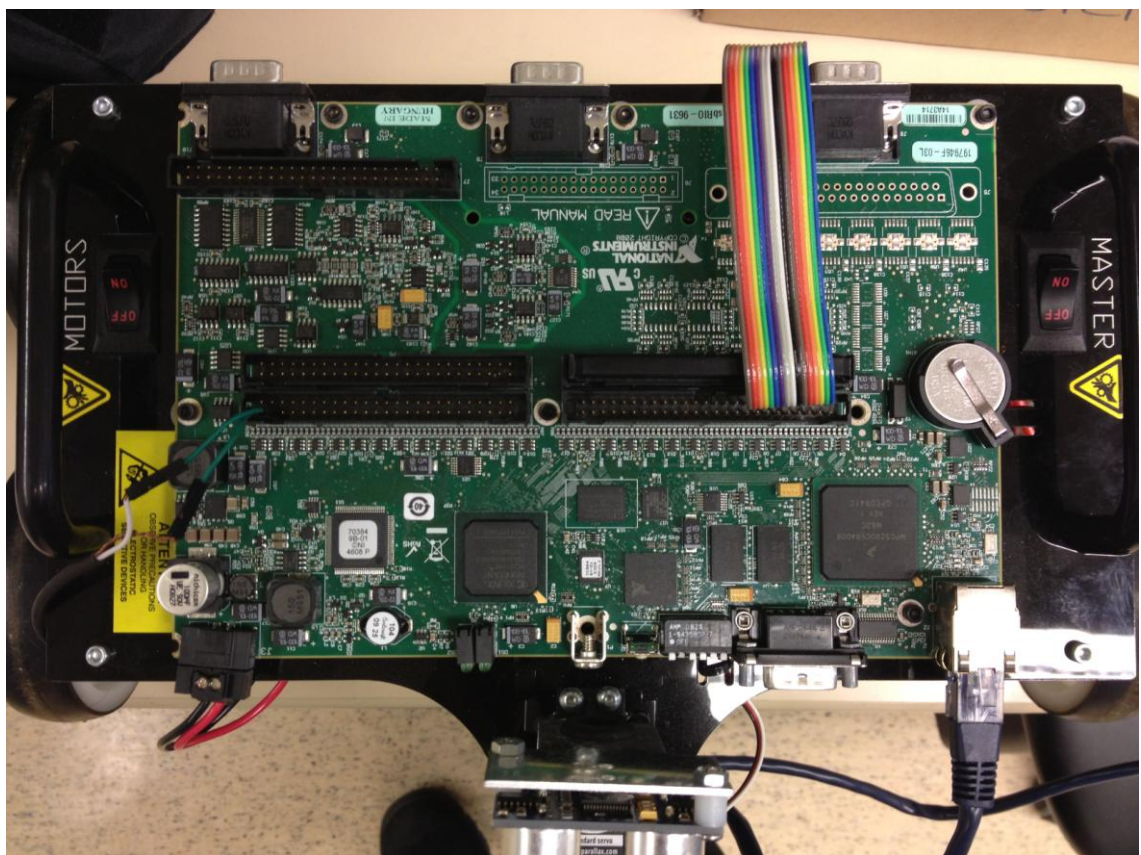
### 2.1 Single-Board RIO 9631 -piirikortti

Ultraäänirobotti on yksi National Instrumentsin valmistamista roboteista. Se sisältää Single-Board RIO 9631 -piirikortin, jonka National Instruments on myös valmistanut. Kortti kuuluu ultraäänirobotin kokonaisuuteen rengas- ja moottorirakenteen ohella. Se soveltuu sovelluksiin, joissa tarvitaan luotettavuutta, joustavuutta ja korkeaa

suorituskykyä. Kortti tarjoaa monipuoliset liitännät ja ominaisuudet tähän insinöörityöhön (kuva 1). Työssä hyödynnetään piirikortin FPGA-piiriä sekä 3,3 V:n DIO-linjoja. Kortin pääominaisuuksiin kuuluu

- 266 MHz prosessori
- 64 MB DRAM muistia
- 128 MB sisäistä muistia
- FPGA piiri, jossa on miljoona porttia
- 10/100BASE-TX Ethernet-portti
- RS232-sarjaportti
- 110 kpl 3,3 V DIO-linjoja.

Robotin ohjelmistoa hallitaan LabVIEW-ohjelmistoympäristön avulla. Ohjelmisto ladataan robotin sisäiseen muistiin.



Kuva 1. Robotin piirikortti ylhäältäpäin

Kuvassa 1 (ks. ed. s.) on esitetty Single-Board RIO 9631 -piirikortti. Vasemmalla puolella ovat robotin kolme mustaa DIO-liitintä. Näistä keskimmäistä käytetään yhteyden muodostamiseksi mikrokontrollerille.

## 2.2 LabVIEW-ohjelmointiympäristö

LabVIEW on National Instrumentsin kehittämä graafinen edistynyt ohjelmistoympäristö. LabVIEW:ssä ohjelmointi tapahtuu käyttämällä virtuaalisia instrumentteja. Niitä saa helposti lisättyä *drag & drop* -tekniikalla ja kokonaisuuden hahmottaminen on helppoa. Koodin suoritustapa eroaa tavallisesta rivikoodauksesta. LabVIEW:ssä aliohjelmia voidaan suorittaa samanaikaisesti, kun taas rivikoodauksessa koodia suoritetaan rivi kerrallaan.

LabVIEW tarjoaa tuen useille käyttöjärjestelmille mukaan lukien Windows, Mac ja Linux -käyttöjärjestelmät. Se soveltuu erinomaisesti erilaisen mittausdatan keräämiseen ja analysoimiseen sekä erilaisten toimintojen ja instrumenttien automatisointiin. [1.]

Virtuaali-instrumentit koostuvat etupaneelistä (*front panel*), kaaviodiagrammista (*block diagram*), kuvakkeesta (*icon*) ja sen liitäntäparista (*connector pane*). Halutut aliohjelman etupaneelin indikaattorit ja kontrollit liitetään kuvakkeen liitäntäpariin. Näin pystytään langoittamaan aliohjelmia toisiinsa kiinni. [2, s. 6.]

## 2.3 FPGA-piirit

Digitaalinen FPGA-mikropiiri sisältää helposti ohjelmoitavia logiikkaportteja, joita voidaan uudelleen ohjelmoida. FPGA-piirillä voidaan teoriassa toteuttaa mikä tahansa digitaalisen piirin toiminta. Nykyaikaiset FPGA-piirit voivat sisältää useita miljoonia logiikkaportteja, useita prosessoreita sekä erilaisiin erikoistoimintoihin kuuluvia ei-ohjelmoitavia alueita. Näihin kuuluvat esimerkiksi aritmeettiset operaatiot sekä digitaaliset suotimet. FPGA-piirit sopivat hyvin prototyyppien rakentamiseen niiden uudelleen ohjelmoitavuuden takia. [3.]

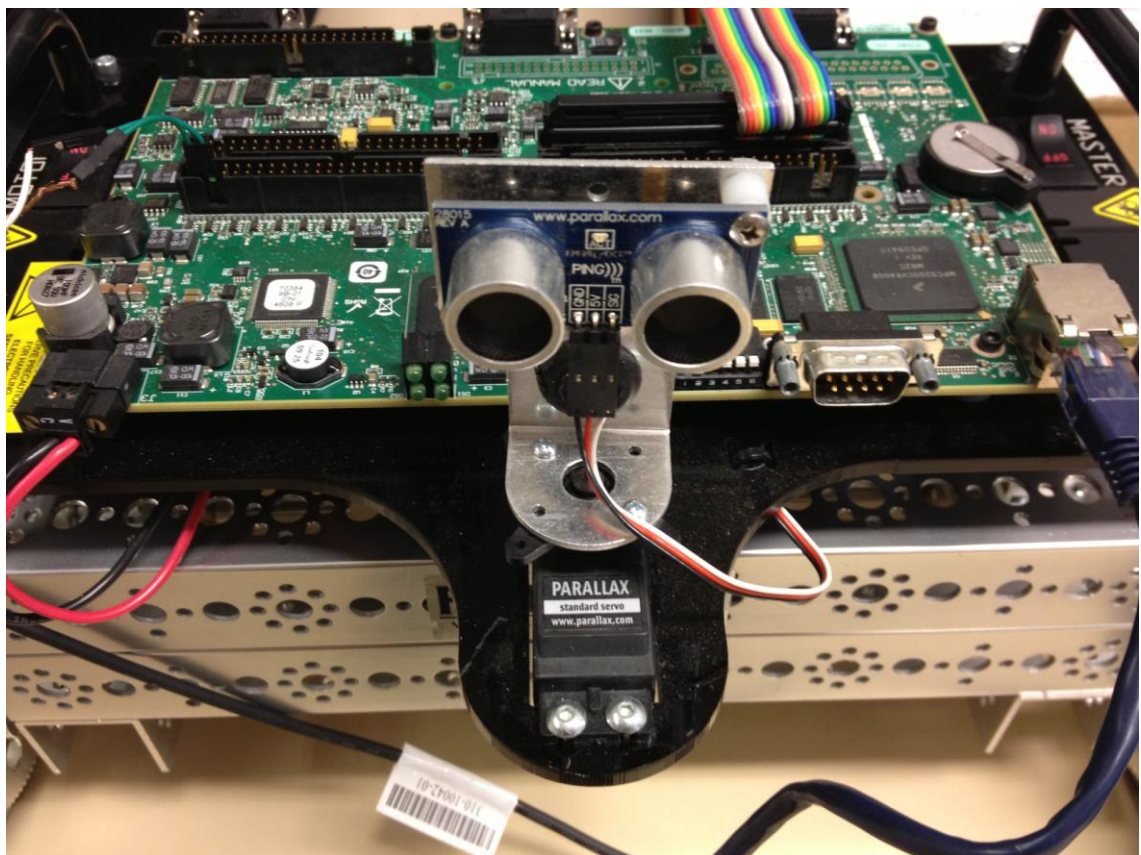
Single-Board RIO 9631 -piirikortin FPGA-piiriin ohjelmoidaan SPI-väylän lukemiseen tarvittava koodi. Se sisältää DIO-nastojen alustukset sekä ohjauskomentojen



välittämisen sisäisessä muistissa sijaitsevalle ohjauskoodille. Koodin kääntäminen FPGA-piirille kestää tässä työssä tyypillisesti noin 15 minuuttia.

## 2.4 Ultraäänisensori

Ultraäänisensori kuuluu projektin robotin kokonaisuuteen. Ultraääni on ääntä, jota ei voi kuulla paljaalla ihmiskorvalla. Se on ääntä, jonka taajuus on yli 20 kHz. Ultraääni omaa samoja ominaisuuksia kuin näkyvä valo. Se voi taittua, heijastua, fokusoitua ja diffraktoitua. Kuvassa 2 nähdään robotin ultraäänisensori:



Kuva 2. Robotin ultraäänisensori

Radiotaajuuksista poiketen ultraääni ei etene lainkaan tyhjiössä, joten se tarvitsee edetäkseen väliaineen. Robotin ultraäänisensori hyödyntää ultraäänen heijastumista. Väliaineena toimii ilma. Sensori lähettää ultraääniaallon, joka kulkee väliainetta pitkin kunnes se kohtaa esteen, esimerkiksi seinän. Aalto heijastuu seinästä ja kulkeutuu takaisin sensorille. Tästä voidaan laskea aallon kulkema matka, kun tiedetään aallon nopeus ilmassa ja sen takaisin heijastukseen kuluva aika.

Robotin ohjelmisto sisältää ultraäänisensorin käyttöön liittyvän koodin, joka liikuttaa sensoria ja laskee sensorin palautteesta edessä olevan esteen etäisyyden. Sensoria käännellään edestakaisin noin 90 asteen sektorilla, jolloin saadaan tietoa edessä olevista esteistä.

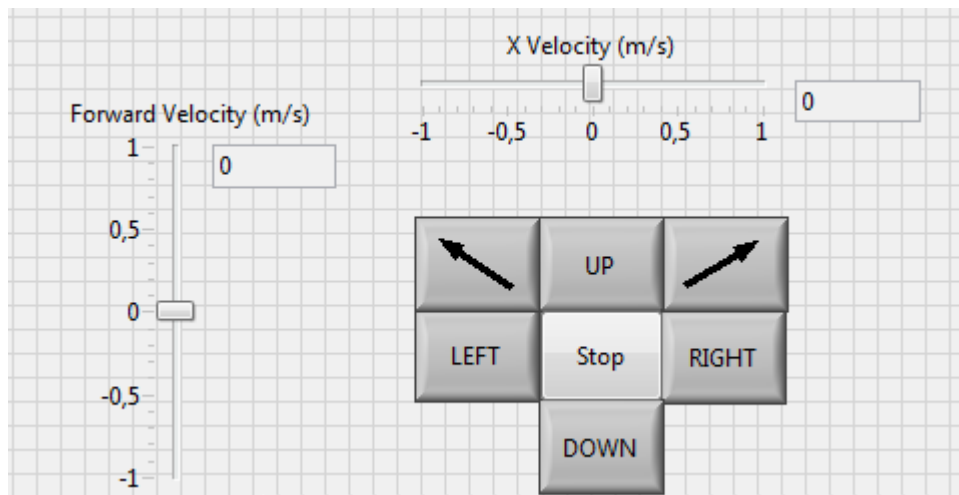
Ohjelmisto piirtää sensorin datan perusteella tutkakuvan tietokoneen näytölle. Havaitessaan esteen robotti vaihtaa suuntaa ja kääntyy pois esteen tieltä. Kuvassa 2 (ks. ed. s.) on esitetty robotin ultraäänisensori kiinnitettynä piirikortin alla olevaan rakennelvyyn.

## 2.5 Innovaatioprojekti

Ultraäänirobotista tehtiin ensimmäinen langaton versio vuoden 2012 Metropolia Ammattikorkeakoulun innovaatioprojektina. Projektin tilasi National Instruments ja robottiin suunniteltiin manuaalinen ohjaussysteemi. Innovaatioprojektille asetettiin seuraavat tavoitteet:

- Robotin tulee pystyä väistämään esteitä sen liikkuessa.
- Robotin ohjelmiston tulee käynnistyä automaattisesti ja robotin tulee olla toimintakunnossa laitettaessa virrat päälle.
- Robottia pitää pystyä ohjaamaan langattomasti esim. tietokoneella tai kännykällä.
- Otettaessa yhteys langattomasti robottiin, robotin tulee siirtyä manuaali-tilaan, jossa sitä voidaan käskyttää tietokoneella tai kännykällä.
- Robotti pitää pystyä kytkemään automaatti-tilaan, jossa se liikkuu automaattisesti.

Innovaatioprojektiryhmä koodasi automaattitilan rinnalle manuaalitilan, jossa robottia voidaan ohjata tietokoneen välityksellä. Kuvassa 3 (ks. seur. s.) esitetään robotin ohjauspainikkeet. Kuvassa nähdään ilmaisimet sivuttaisnopeudelle sekä etenemisnopeudelle. Vasemmalla on ilmaisin etenemisnopeudelle (*Forward Velocity*), josta nähdään robotin nopeus eteen- tai taaksepäin. Ylhäällä on ilmaisin kääntymisnopeudelle, josta nähdään robotin kääntymisnopeus sivuille.



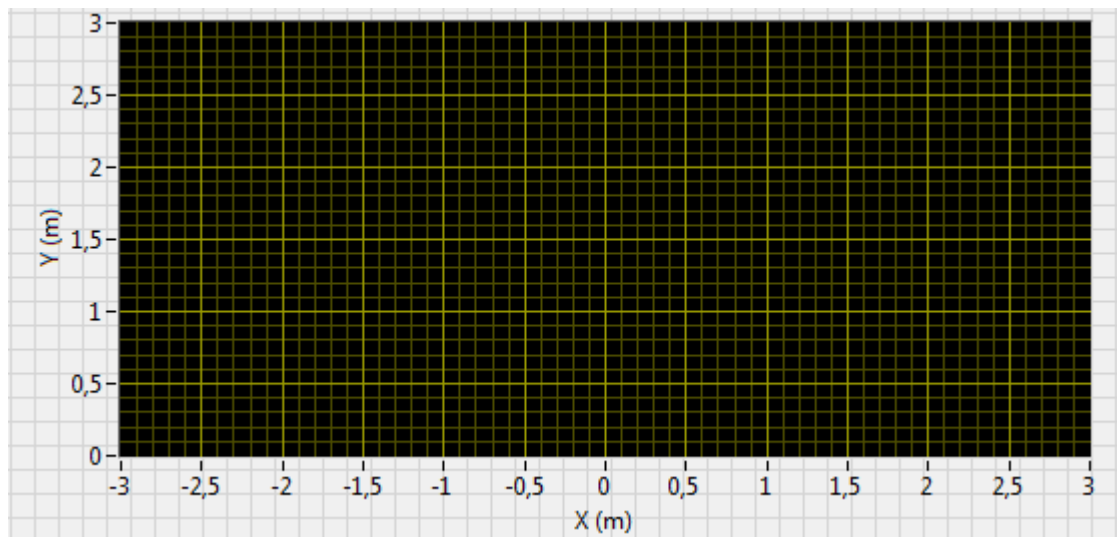
Kuva 3. Robotin manuaalisen ohjauksen käyttöliittymä [4]

Manuaalililassa on yhteensä seitsemän ohjausnappia, jotka ovat

- 1 *Up* (ylös)
- 2 *Down* (alas)
- 3 *Right* (oikealle)
- 4 *Left* (vasemmalle)
- 5 *Stop* (pysäytys)
- 6 *Upper left* (vasen yläviisto)
- 7 *Upper right* (oikea yläviisto).

Painikkeet lisäävät tai vähentävät robotin nopeutta 0,1 m/s riippuen robotin kulkusuunnasta. Vasen ja oikea viistopainike kääntävät robottia 45 astetta valittuun suuntaan sen hetken vallitsevalla nopeudella. *Stop*-painike pysäyttää robotin kokonaan. Robotin maksiminopeus on 1 m/s.

Robotin ultraäänisensorille löydettiin projektiin valmis ohjelma LabVIEW'n kirjastoista, eikä sensorin ohjelmakoodia muutettu millään tapaa. Ohjelma piirtää tutkakuvan ultraäänisensorin datasta. Kuvassa 4 (ks. seur. s.) esitetään tutkakuvaikkuna.



Kuva 4. Ultraäänianturin tutkakuvaikkuna [4]

Robotin langaton yhteys tietokoneeseen muodostettiin tukiaseman ja WLAN-linkin avulla. WLAN-linkki kytkettiin robotin Single-Board RIO 9631 -piirikortin LAN-porttiin. Virta WLAN-linkille otettiin robotin piirikortilta suoraan. Tukiasema säädettiin liitanta pisteeksi (*access point*). Tällöin tukiasema välittää ainoastaan tietoja.

Tavoitteista saavutettiin kaikki muut paitsi kännykällä ohjattavuus. National Instruments tarjoaa WebService-nimistä palvelua, jossa LabVIEW-ohjelmia pystytään ajamaan internetin välityksellä. Innovaatioprojektissa oli tarkoitus ajaa robotin ohjausohjelmistoa WebServicen kautta. Palvelu vaatii Microsoft Silverlight tuen käytettävältä laitteelta, jota esimerkiksi Nokia N8 ja iPhone 4 eivät tue, joten kännykällä ohjauksesta luovuttiin. [4.]

### 3 Dataväylät

#### 3.1 SPI-väylä

Robotin piirikortin ja mikrokontrollerin välillä käytetään SPI-väylää. Se koostuu isäntälaitteesta sekä yhdestä tai useammasta orjalaitteesta. Isäntälaitteen ja orjalaitteen välille tarvitaan neljä loogista signaalia. Signaalit ovat MOSI (*Master Output Slave Input*), MISO (*Master Input Slave Output*), CLK (*Synchronic Clock*) ja SS (*Slave Select*). MOSI-signaali on isäntälaitteelta lähetettävä data orjalaitteelle. MISO-signaali on orjalaitteelta isäntälaitteelle lähetettävä data. Mikäli väylässä on useampi orjalaite, tarvitaan myös SS-signaalin (*slave select*) käyttöä. Tämä signaali on aktiivinen 0-tilassa, ja vain

yksi orjalaite voi olla aktiivinen kerrallaan. SCKL on väylän kellosignaali ja sen lähettää isäntälaitte.

SPI-väylä on kaksisuuntainen väylä. Tämä tarkoittaa sitä, että dataa lähetetään ja vastaanotetaan samaan aikaan yhden kellopulssin aikana. Data lähetetään ja vastaanotetaan kahdeksan bitin erissä eli kehyksissä. [5.]

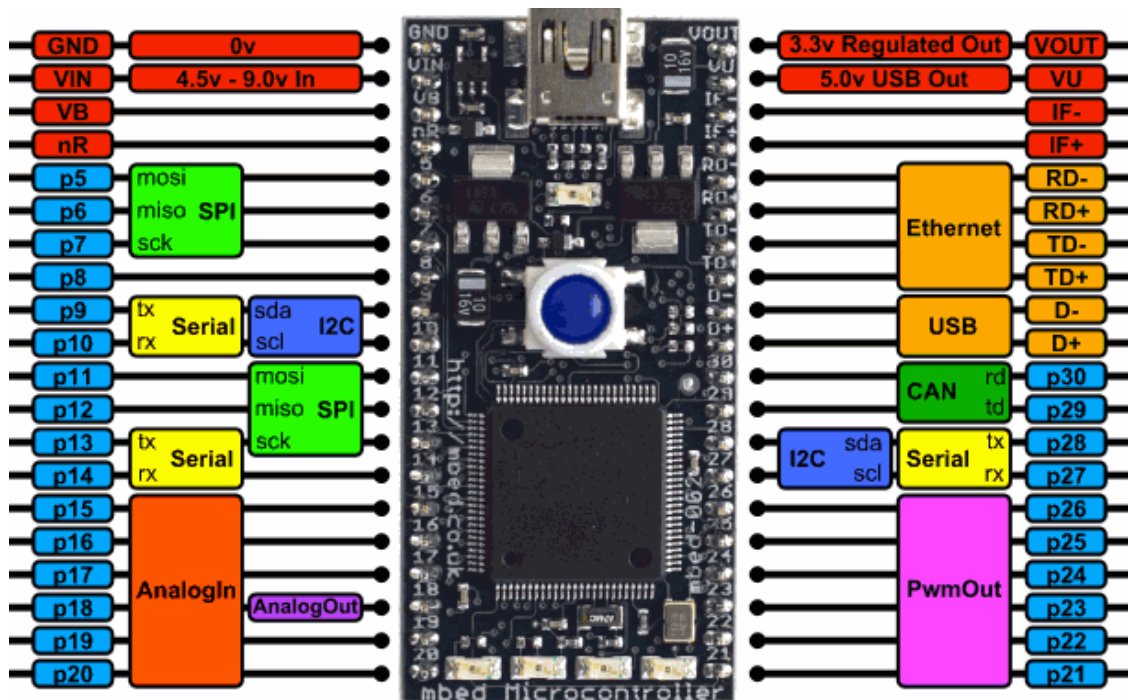
### 3.2 UART-väylä

Ohjaustietojen välittämiseksi WiFly-moduulilta mikrokontrollerille tarvitaan UART-väylä. Se sopii erinomaisesti yhteydeksi kahden laitteen välille, jossa dataa liikkuu satunnaisesti. Väylä muodostuu kahdesta signaalista. Ne ovat data sisään ja data ulos. Kummassakin laitteessa on data sisään ja data ulos -nastat. Nämä nastat kytketään ristiin yhteyden aikaansaamiseksi. Data ulos -nasta kytketään vastaanottavan laitteen data sisään -nastaan ja vastaavasti toisinpäin. Yhteys on kaksisuuntainen eikä tarvitse erillistä kellopulssia toimiakseen. Vastaanottaja tahdistuu vastaanotettavan datan taajuuden mukaan. [6.]

## 4 Mbed-mikrokontrollerimoduuli

Mbed on ARM-mikroprosessoriarkkitehtuuriin perustuva mikrokontrollerimoduuli. Tässä insinööriyössä käytetään NXP LPC1768 -mikrokontrolleria, joka on osa mbed-mikrokontrollerimoduulia. Se tarjoaa monipuoliset liitännät ja ominaisuudet prototyyppien rakentamiselle. Väyläliitäntöihin sisältyvät SPI-, sarja-, I2C-, ethernet-, USB- ja CAN -väylät.

Tässä työssä hyödynnetään mbed:n SPI- ja sarja (*serial*) -väyliä. Mbed:n ja robotin välillä päädyttiin käyttämään SPI-väylää, koska molemmat laitteet tukevat sitä ja SPI-väylän ohjelmistokoodi löytyy vapaasti käytettävänä netistä. WiFi-moduulin ja mbed:n välillä käytetään sarjaväylää, sillä se on yksinkertaisin ja tehokas ratkaisu niiden välillä kulkevan datan siirrolle. Kuvassa 5 (ks. seur. s.) nähdään työssä käytettävä mbed-mikrokontrollerimoduuli sekä sen kaikki liitännät.



Kuva 5. Mbed-mikrokontrolleri ja sen liitännät [7]

Mbed:n ominaisuuksiin sisältyy valmiit kirjastot sovelluksille, ohjelmointi USB-väylän kautta sekä erittäin kattavat verkkosivut. Mbed.org -sivustolta löytyy paljon esimerkiohjelmia ja sivustolla on suuri valikoima erilaisia lisälaitteita mbed:lle. Sivusto tarjoaa verkko-ohjelmointiympäristön mbed:lle, joten erillisen ohjelman hankkiminen ei ole välttämätöntä. [8.]

## 5 Radioyhteys

### 5.1 Radiotekniikan historiaa

Sähkömagneettisia kenttiä koskevan tiedon on kerännyt yhteen brittiläinen James Clerk Maxwell (1831 - 1879). Hän kirjoitti ja kokosi yhteen jo aiemmin esitetyt asiat Ampèren virtalaista, Faradayn induktiolaista sekä Gaussin sähkövuolaista. Näissä laeissa esitetyt yhtälöt viittasivat radioaaltojen olemassaoloon.

Saksalainen Heinrich Hertz todisti vuonna 1888 radioaaltojen olemassaolon kokeiden avulla. Hän käytti kokeissaan kipinävilähetintä ja silmukka-antennia. Hertz osoitti kokeillaan myös radioaaltojen kykenevän heijastumaan, diffraktoitumaan ja polarisoitumaan.

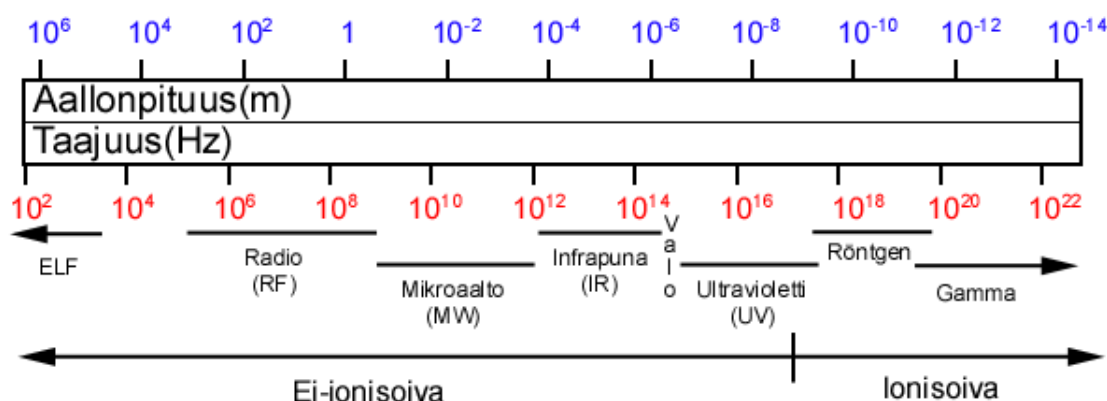
Vuonna 1912 keksittiin elektroniputkeen perustuva oskillaattori. Tämän keksinnön takana olivat yhdysvaltalaiset Lee De Forest (1873 - 1961) ja Edwin Armstrong (1890 - 1954). Ensimmäisen yleisradion kannalta tämä keksintö on oleellinen, sillä sen avulla saatiin luotua kanta-aalto, jota pystyttiin moduloimaan puheella. Suomessa ensimmäinen yleisradio aloitti toimintansa Tampereella vuonna 1923.

Ensimmäisen transistorin keksivät yhdysvaltalaiset John Bardeen, Walter Brattain ja William Shockley. Tämä vuonna 1947 keksitty tekniikka mullisti radiotekniikan sekä elektroniikan kehityksen. [9, s. 13 - 15.]

## 5.2 Sähkömagneettinen säteily

Kaikki langaton viestintä hyödyntää sähkömagneettista säteilyä. Säteily etenee suora-  
viivaisesti ja on poikittaista aaltoliikettä. Sähkömagneettinen tasoaalto koostuu sykkivistä sähkökentistä ja magneettikentistä, jotka ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan sekä etenemissuuntaa vastaan. Sähkömagneettinen säteily etenee valonnopeudella tyhjiössä ja sen säteilyn aallonpituus tyhjiössä on  $\lambda = c/f$ , jossa  $c$  on valonnopeus tyhjiössä 299 792 458 m/s ja  $f$  on säteilyn taajuus.

Sähkömagneettista säteilyä syntyy, kun varaus on kiihtyvässä liike-tilassa. Syntymekanismeja on useita: sähkökentän jarruttama varaus synnyttää jarrutussäteilyä, magneettikentässä kiertävä varaus aiheuttaa synkrotronisäteilyä, aineen lämpöliikkeen takia syntyy termistä säteilyä, atomin tai molekyylin viritystilan (energiatilat) muuttuessa syntyy spektriviivasäteilyä jne. Oskillaattorien kehittäminen ja antennien lähettämä säteily perustuu suurtaajuisen vaihtovirtaan. [9, s. 9.]



Kuva 6. Sähkömagneettinen spektri [10]

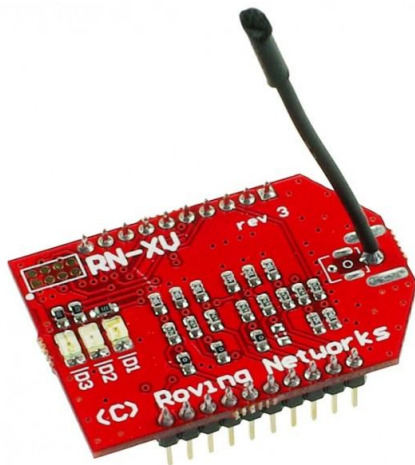


Sähkömagneettinen spektri jaetaan eri osa-alueisiin, jotka on esitetty kuvassa 6 (ks. ed. s.). Radiotaajuuudet kuuluvat spektrin matalataajuisempaan osaan ja ovat ei-ionisoivia. Tämä tarkoittaa sitä, että radiotaajuinen säteily on paljon matalaenergisempää kuin esimerkiksi röntgen- ja gammasäteily. Ionisoiva eli suurenerginen säteily pysyy irrottamaan aineesta elektroneja, mikä on terveydelle todella haitallista. [11.]

Radioaaltojen terveysvaikutuksia on tutkittu, ja nykytietämyksen mukaan ne eivät voi aiheuttaa syöpää. Biologisen materiaalin ionisoimiseen tarvittava energia on 12 eV. Radiotaajuinen säteily 1 THz:n taajuudella tuottaa vain 4 meV:n suuruisen energian. Radioaaltojen lämpövaikutukset ovat kuitenkin varmoja haittavaikutuksia. Varmoina lämpövaikutuksiksi lukeutuvat harmaakaihi, lämmönnousu ja palovammat. Laitteita joiden maksimiteho on 100 mW voidaan pitää täysin turvallisina, eivätkä ne aiheuta terveydelle vaaraa. [9, s. 271 - 273.]

### 5.3 WiFly-moduuli

Tässä työssä käytetään Roving Networksin WiFly RN-XV -moduulia. Se on sulautettu TCP/IP -moduuli, joka soveltuu langattomiin sovelluksiin pienen virran kulutuksensa ansiosta. Sen avulla saadaan muodostettua WLAN-yhteys tukiasemaan. Moduuli on helppo kytkeä, sillä se tarvitsee vain neljä nastaa toimiakseen. Nastat ovat käyttöjännite, maa, data sisään ja data ulos. Moduuli tukee WEP-, WPA- ja WPA2 -tunnistautumista sekä käyttää 802.11b/g-standardia. Moduulin avulla luodaan OSI-mallin mukainen fyysinen rajapinta, joka sisältää fyysisen yhteyden.



Kuva 7. WiFly RN-XV -moduuli [12]



Kuvassa 7 (ks. ed. s.) on esitetty tässä insinööriyössä käytettävä WiFly RN-XV -moduuli. Se pohjautuu Roving Networksin RN-171 Wi-Fi -moduuliin. Moduulille löytyy valmiit kirjastot ja koodit joten käyttöönotto on helppoa.

#### 5.4 802.11-standardi

802.11-standardi sisältää suosituksia, joilla määritetään langattoman lähiverkon toiminta. Tästä suosituksien kokoelmasta käytetään myös tutumpaa nimeä WiFi. WiFi Alliance yhteisö omistaa WiFi-tuotemerkin ja sertifioi 802.11-standardiin perustuvia laitteita. Laite, jolla on WiFi-sertifikaatti on toiminnoltaan yhteensopiva muiden WiFi-sertifikoitujen laitteiden kanssa ja omaa WiFi-allianssin määrittelemät minimiehdot. [13, s. 293.]

## 6 Piirilevyn valmistus

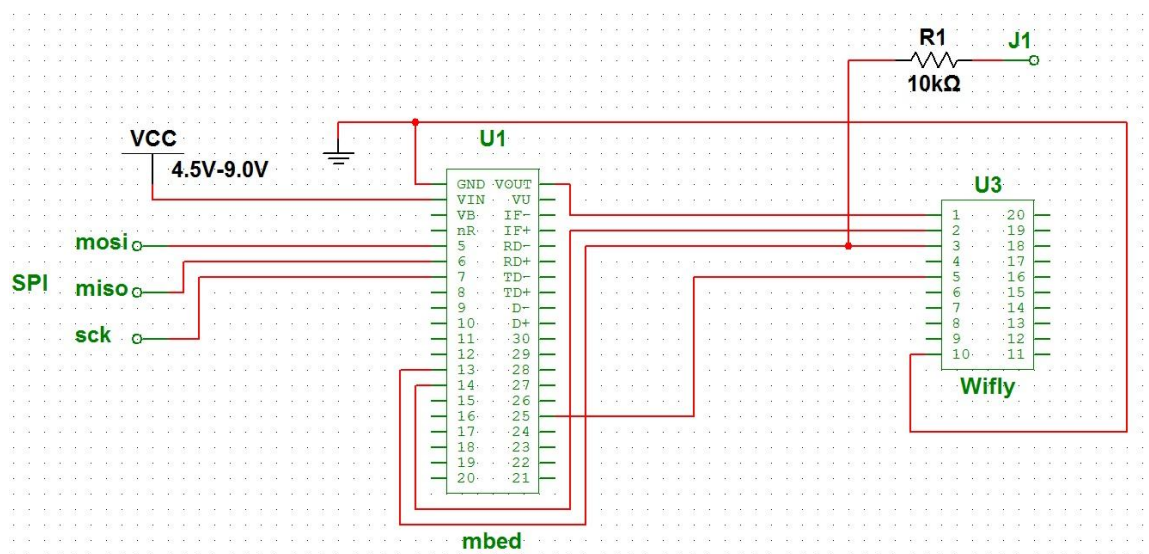
### 6.1 Piirilevyn suunnittelu

Piirilevyn suunnittelussa käytettiin EAGLE (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*) -ohjelmistoa, joka on CadSoftin valmistama ohjelmisto. EAGLE on ilmainen piirilevy-suunnitteluohjelmisto, ja se on hyvin samantapainen kuin maksullinen PADS-piirilevy-suunnitteluohjelmisto. EAGLE:ssä on kytkentäkaavio editori (*schematics editor*), piirilevy editori (*layout editor*) ja automaattinen vetojen suunnitteluominaisuus (*autorouter*). Valmiiksi suunnitellusta levystä saa helposti tehtyä tarvittavat tiedostot esimerkiksi jyrsimelle. Halutessaan piirilevyn tiedot voi viedä napin painalluksella suoraan ohjelman tarjoamalle ammattimaiselle piirilevyjen valmistajalle. Ohjelmisto tukee Windows-, Linux- ja Mac- käyttöjärjestelmiä.

EAGLE:n ilmaisversiolla saa tehtyä kaksipuoleisia piirilevyjä, joiden maksimikoko on 100 mm x 80 mm. Komponenttien määrää ei ole rajoitettu ilmaisversiossa. Piirilevy suunnitellaan EAGLE:llä, koska se on helposti saatavilla kotiin eikä suurta piirilevyä tarvita. Ohjelmiston käyttö on helppoa, jos on aikaisemmin käyttänyt PADS-ohjelmistoa. Käyttöliittymä on hyvin samantapainen ja valmiita osia löytyy erittäin paljon. Osia voidaan lisätä kirjastoista ja niitä pystytään etsimään nimen, valmistajan tai osan arvojen perusteella. EAGLE:n etuna on se, että siihen löytää verkosta helposti lisää osia,

joita ei valmiiksi siinä ole. Komponenttien valmistajien tai jälleenmyyjien sivuilta löytyy usein tarvittaville komponenteille valmiit eagle-kirjastot.

Kuvassa 8 esitetään tässä insinööriyössä rakennettavan piirilevyn kytkentäkaavio. Siitä nähdään, että tarvittava kytkentä on varsin yksinkertainen ja helppo toteuttaa. Ainoa lisäkomponentti mbedin, WiFly-moduulin ja robotin liittimen lisäksi on 10 kΩ vastus, jolla ylösvedetään WiFly-moduulin sarjaväylän sisäänmeno. WiFly:ssa on sarjaväylän sisäänmenon jälkeen heti seuraavana diodi, joka aiheuttaa ongelmia ilman ylösvetovastusta.

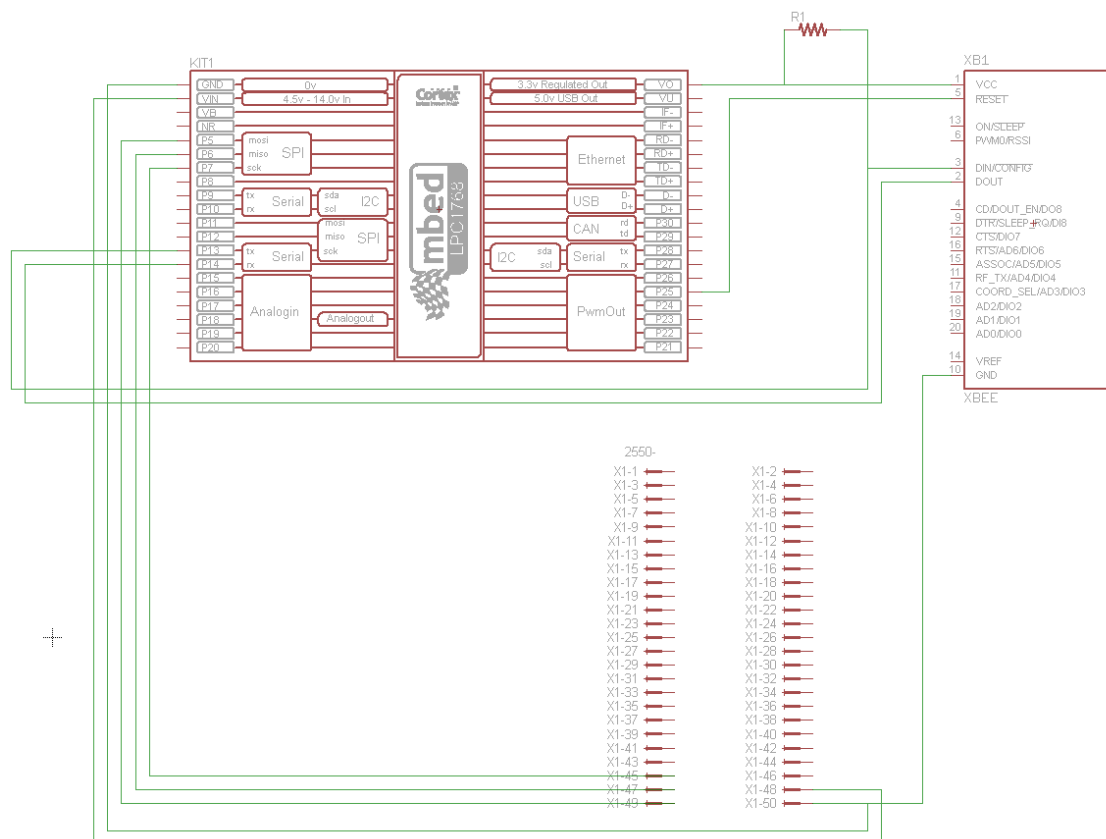


Kuva 8. Suunniteltavan piirilevyn kytkentäkaavio

WiFly-moduuli saa 3,3 V:n käyttöjännitteen mbed:n vout-nastasta. Mbed:n käyttöjännite VCC voidaan asettaa 4,5 V - 9,0 V. Tässä projektissa käytetään 5 V:n käyttöjännitettä, sillä se saadaan tuotua suoraan robotin piirilevyltä mbedille. Erillistä ulkoista virtalähdettä ei tarvita, koska tarvittava teho saadaan robotin akun kautta.

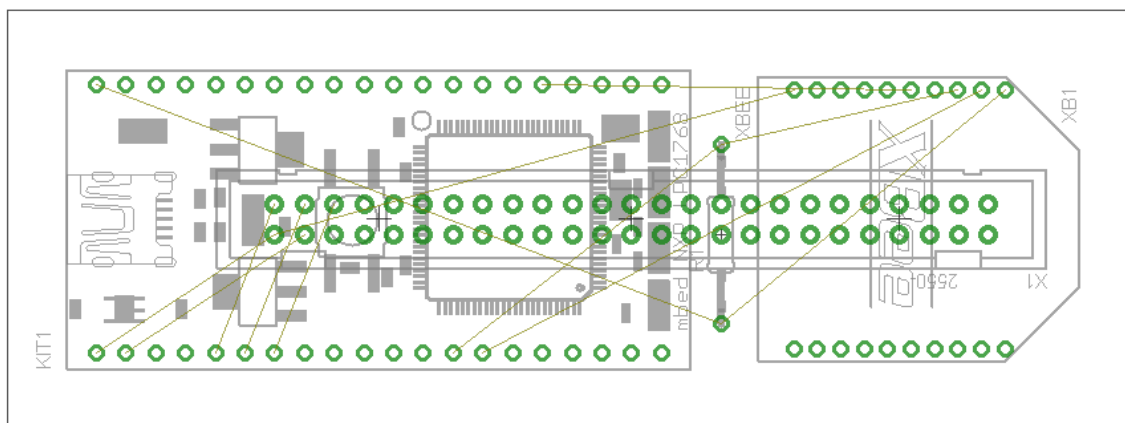
Kuvassa 9 (ks. seur. s.) nähdään sama kytkentäkaavio kuin nähtiin kuvassa 8, mutta nyt kytkentäkaavio on EAGLE-ohjelmassa. Kytkentäkaaviossa näkyy ylhäällä vasemmalla mbed-mikrokontrollerimoduuli. Mbed:ä ei löydy valmiiksi olevista kirjastoista, joten sen kirjasto pitää hakea erikseen netistä. Mbedin sarjaväylä (UART) on kytkettynä WiFly-moduulin vastaavaan sarjaväylään. Oikealla ylhäällä nähdään WiFly-moduuli. Ohjelmassa käytetään xbee-moduulin kirjastoa WiFly-kirjaston tilalla, sillä siinä on samat nastat ja nastavälit kuin WiFly:ssa.

Alhaalla keskellä nähdään robottiin kytkettävän liittimen nastat. Robotin liitin löytyy valmiiksi EAGLE:n kirjastoista. Nastat 45, 47 ja 49 kytkeytyvät robotin SB RIO -piirikortin DIO-nastoihin. Näillä kolmella nastalla saadaan SPI-väylä toimintakuntoon. Neljättä SS (*Slave Select*) -nastaa ei tarvitse kytkeä liittimeltä, koska kommunikointi tapahtuu vain isäntä- ja orjalaitteen välillä. Nasta 48 kytkeytyy 5 V:n käyttöjännitteeseen ja nasta 50 on kytkettynä maatasoon. Kytkenät on helppo toteuttaa, sillä komponenttien liittimet ovat selkeästi nimetty ja esitetty.



Kuva 9. Piirilevyn kytkentäkaavio EAGLE:ssä

Seuraavaksi valmis kytkentäkaavio viedään EAGLE-ohjelman piirilevyeditointi puolelle (*layout editor*). *Layout-editorissa* suunnitellaan fyysiset vedot, tarvittavat reiät ja läpiviennit sekä ulkomitat piirilevylle. Vaihdettaessa piirilevyn editointiin kytkentäkaaviossa olleet osat muuttuvat samannäköisiksi kuin oikeat fyysiset osat. Kuvassa 10 (ks. seur. s.) nähdään piirilevyn asettelu ilman vetoja. Kytkenäkaaviossa tehdyt kytkennät säilyttävät yhteytensä layout puolelle. Kytkenä näkyvät ohuina vihreinä viivoina ja niiden avulla suunnitellaan tarvittavat vedot.



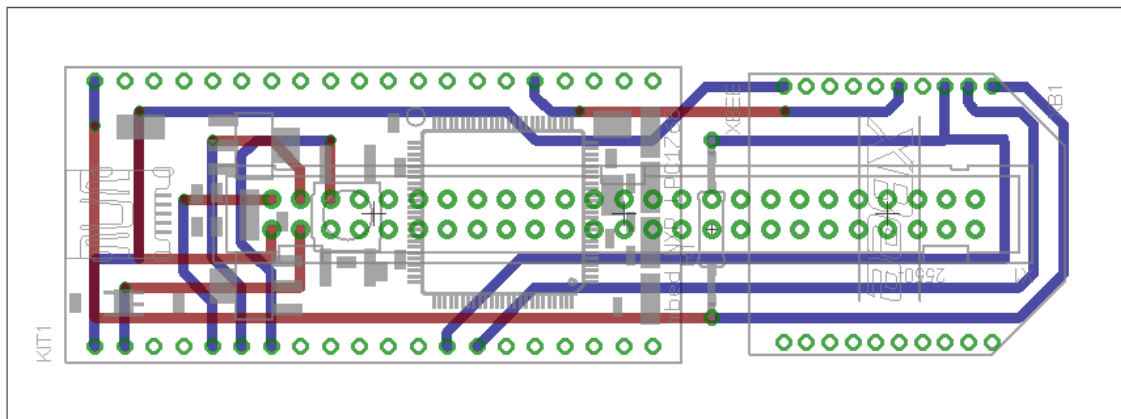
Kuva 10. Piirilevyn *layout* ilman vetoja

EAGLE sisältää automaattisen vetojen luonti (*autorouter*) -ominaisuuden. Tämä ominaisuus tekee automaattisesti vedot piirilevylle. *Autorouterin* asetuksista voidaan määrittää haluttuja parametreja vedoille. Tässä työssä ei kuitenkaan käytetä automaattisia vetoja, sillä kaikki vedot halutaan komponenttien nastojen sisäreunojen puolelle. Tällä tavalla piirilevyn ulkonäkö ja kokonaisuus näyttää paremmalta.

Piirilevy suunnitellaan kaksipuoleisena, koska komponentteja tarvitaan piirilevyn kummallekin puolelle. Yksipuoleisen piirilevyn toteutus ei ole mahdollista komponenttien kantojen rakenteiden takia. Piirilevyn alapinnalle asetellaan robottiin kiinnittyvä liitin, joka on esitetty kuvassa 10 keskimmäisenä. Liittimessä on yhteensä 50 nastaa. Piirilevyn yläpinnalle asetellaan mikrokontrollerin ja WiFly-moduulin kantojen lisäksi 10 k $\Omega$  vastus. Kuvassa 10 on esitetty vasemmalla mikrokontrolleri ja oikealla WiFly-moduuli. Vastus on sijoitettuna mikrokontrollerin ja WiFly-moduulin väliin piiloon.

Kuvassa 11 (ks. seur. s.) esitetään valmiit vedot. Punaiset viivat kuvaavat piirilevyn yläpinnan vetoja ja siniset viivat piirilevyn alapinnan vetoja. Pienet vihreät ympyrät ovat reikiä, joihin komponenttien liittimien piikit asettuvat. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon vetojen paksuudet. Liittimien ja vastuksen juottaminen tulee olla mahdollista kolvil-la, joten liian ohuiden vetojen tekemistä kannatta välttää. Näin säästytään myöhemmin mahdollisilta juotosongelmilta.

Suunnittelussa tulee olla myös tarkkana mahdollisten päällekkäisten vetojen kanssa. Virheitä voi sattua varsinkin kaksipuoleista levyä tehtäessä manuaalisilla vedoilla. EAGLE:ssä on virheen tarkistusominaisuus, mutta sen käytössä voi ilmetä ongelmia ladattujen kirjastojen osien kanssa.



Kuva 11. Piirilevyn valmis *layout*

Vetoja ei ole reititetty liittimien nastojen välistä, sillä nastaväli on pienimmillään vain 2 mm. Käytettävissä olevan jyrsimen teknisten ominaisuuksien vuoksi useat vedot on reititetty läpivientejä hyväksi käyttäen. Tällä tavalla voidaan varmistua siitä, että prototyyppin valmistus jyrsimellä onnistuu ilman ongelmia. Läpivienneillä voidaan kätevästi vaihtaa johtimen kulkupintaa piirilevyllä toiselle puolelle ja näin saavuttaa monimutkaisempia toteutuksia.

## 6.2 Jyrsintä

Jyrsin on laite, jolla saadaan eristettyä paljaalle kuparilevyllä piirilevysuunnitteluohjelmistossa suunnitellut vedot. Eristys tapahtuu poran avulla ja sillä saadaan poistettua ylimääräinen kupari piirilevyiltä, jolloin jäljelle jää ainoastaan halutut kuparivedot. Laite osaa myös porata tarvittavat reiät ja läpiviennit piirilevyyn. Läpimetallointia ei ole kuitenkaan mahdollista toteuttaa jyrsimellä.

Jyrsin soveltuu erinomaisesti prototyyppien rakenteluun, koska sillä saa suhteellisen nopeasti tehtyä toimivan piirilevyn. Metropolia Ammattikorkeakoulun Albertinkatu 40 - 42 toimipisteessä on käytettävissä kaksi jyrsintä. Kuvassa 12 (ks. seur. s.) nähdään jyrsin, jota käytetään tässä insinööriyössä.



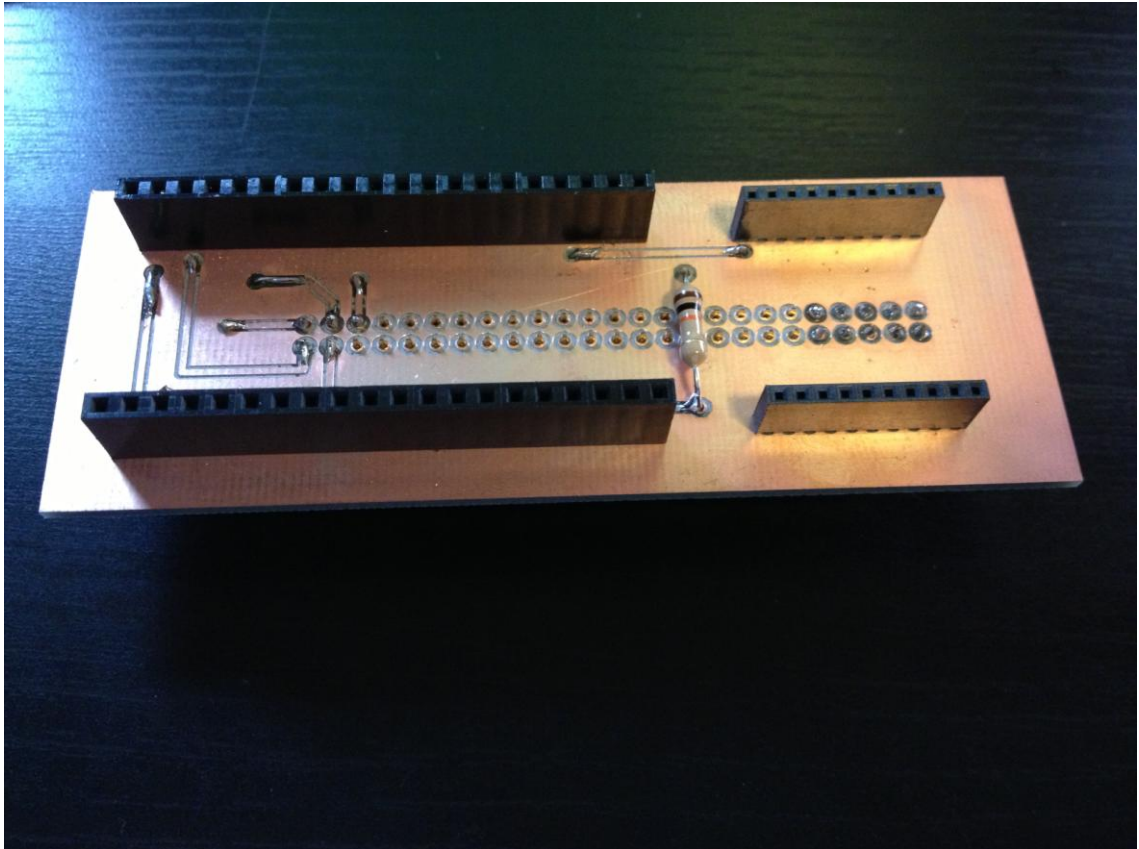
Kuva 12. Metropolia Ammattikorkeakoulun Albertinkatu 40 - 42 jyrsin

Valmiista piirilevystä tuodaan jyrsimelle tarvittavat tiedostot. Näihin kuuluvat ylä- ja alapinnan vetojen tietojen lisäksi poraustiedot ja piirilevyn fyysiset mitat. Näistä tiedostoista luodaan Board Master -ohjelmiston avulla jyrsimen ohjausohjelmistolle sopivat tiedostot. Jyrshintä ohjataan Circuit Cam -ohjelmalla, joka on jyrsimeseen kytketyssä tietokoneessa.

Jyrsimessä on liikkuva pora sekä alusta, johon piirilevy on kiinnitetty. Piirilevy pysyy paikoillaan jyrsinän ajan alipaineimurin avulla. Poran avulla piirilevyn pinnasta jyrsi-tään ylimääräinen kupari pois. Tämän insinöörityön prototyypilevyn jyrsimiseen menee noin 45 minuuttia. Oppilaitoksen jyrsimen käyttö edellyttää hyväksytysti suoritettua piirilevynsuunnittelukurssia, joka kattaa kaikki tarvittavat tiedot jyrsimen itsenäiselle käyttämiselle. Kurssi suoritetaan yleensä ensimmäisen opiskeluvuoden aikana.

### 6.3 Viimeistely ja testaus

Jyrsinnän jälkeen piirilevyyn juotetaan tarvittavat komponentit kiinni tinaa ja kolvia käyttämällä. Kolvi on pieni laite, jossa on kuuma metallikärki. Sillä saadaan sulatettua tinaa haluttuun juotoskohtaan. Tina muodostaa juotoskohtaan sähköisen yhteyden komponentin ja vedon välille. Kuvassa 13 nähdään valmis prototyyppi piirilevy, jossa komponenttien liittimet on juotettu paikoilleen:



Kuva 13. Valmis prototyyppi liittimien kanssa

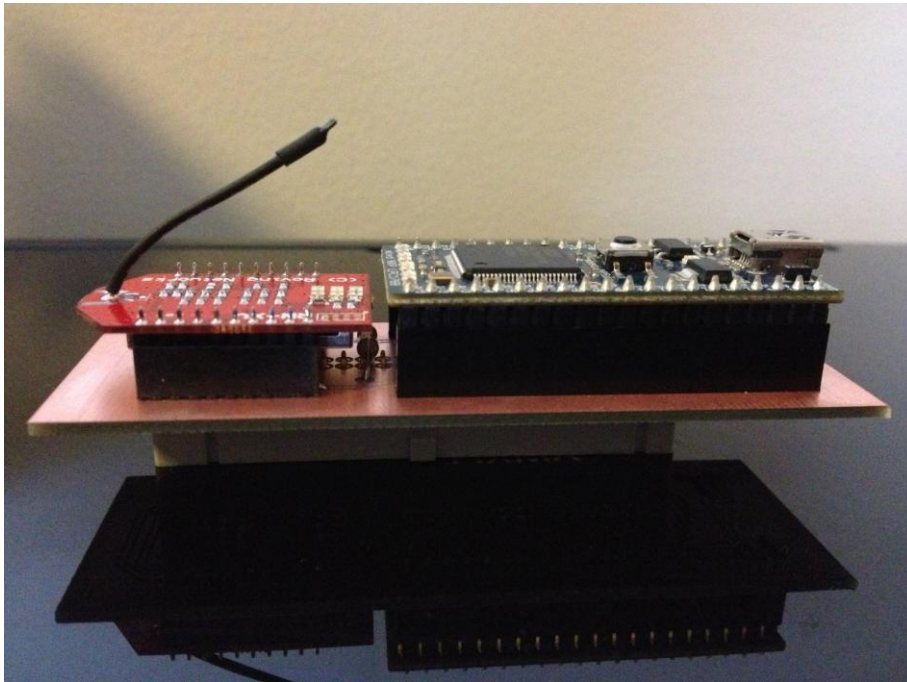
Läpivienteihin on prototyyppissä juotettu lyhyet johtimet. Näin saadaan tehtyä sähköinen yhteys läpivienneissä ilman läpimetallointia. Jyrsimellä ei ole mahdollista toteuttaa läpimetallointia läpivientireikiin, joten lopullinen piirilevy tilataan ammattimaiselta piirilevyn valmistajalta.

Piirilevyn jokainen juotosliitos käydään läpi yleismittarin piippausalueella. Tällä tavalla voidaan tarkistaa mahdolliset oikosulut tai kylmäjuotokset piirilevyllä. Oikosulku tarkoittaa esimerkiksi käyttöjännitteen kytkeytymistä suoraan maatasoon. Oikosulun tapahtuessa piirilevyltä yleensä hajoaa heti jotain. Kylmäjuotoksessa juotoskohta saattaa



näyttää onnistuneelta, mutta sähköinen yhteys ei ole muodostunut. Mikäli kylmäjuotos todetaan, liitoskohta juotetaan uudestaan ja tarkistetaan uudestaan.

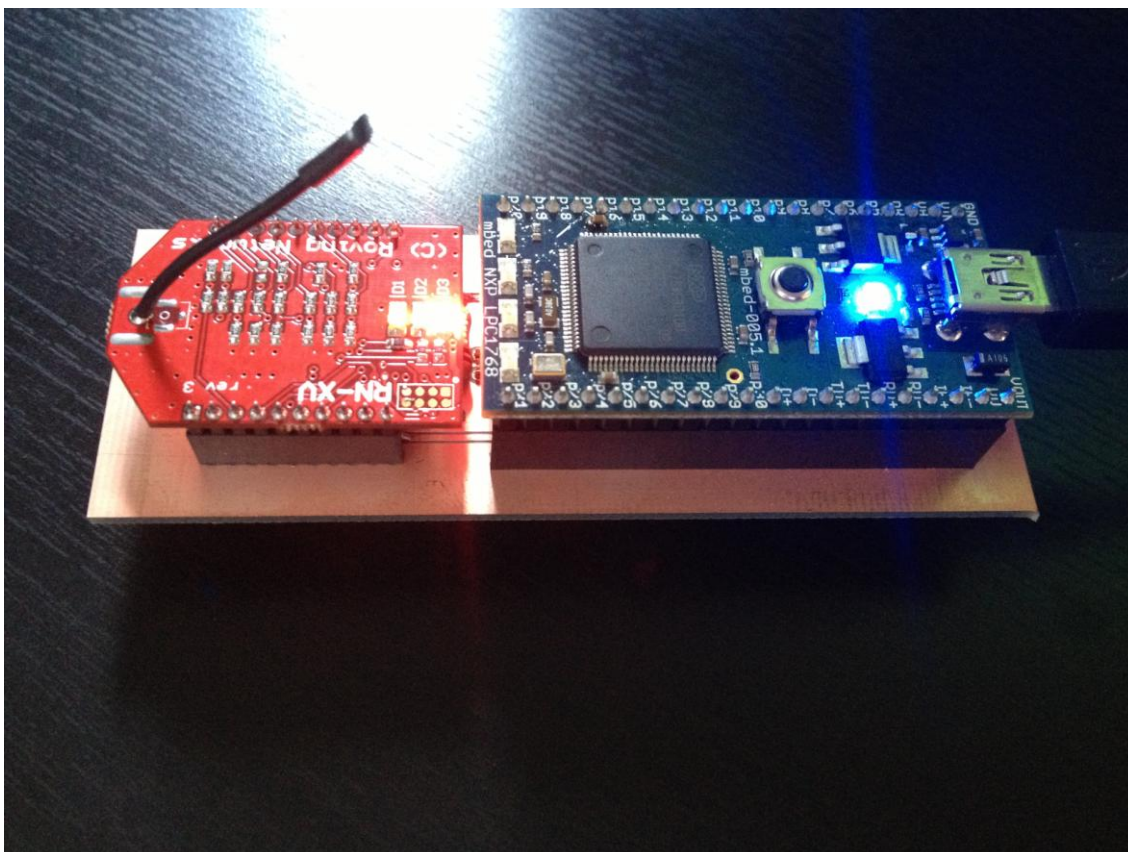
Mittaus on jännitteetön eli piirilevyyn ei ole kytketty jännitettä. Piippausalueella mitattaessa yleismittarin mittapääät asetetaan halutun liitoksen eri päihin. Esimerkiksi läpiviennin kohdalla voidaan mittapääät asettaa eri puolille piirilevyä kyseisen läpiviennin vetojen kohdalle. Yleismittari piippaa mikäli mittapäiden välillä on sähköinen yhteys. Yleismittari ei pidä ääntä, jos sähköistä yhteyttä ei ole.



Kuva 14. Valmis prototyyppi ilman käyttöjännitettä

Kaikkien juotosten tarkistuksen jälkeen piirilevyyn voidaan liittää kiinni mbed-mikrokontrollerimoduuli ja WiFly-moduuli. Osat painetaan kiinni niiden omiin kantoihin. Kannot ovat piirilevyllä sen vuoksi, että osat voidaan tarvittaessa ottaa irti tai vaihtaa. Kuvassa 14 on esitetty piirilevyn valmis prototyyppi. Kaikki osat sopivat niiden kantoihin ja viimeinen testi voidaan suorittaa. Piirilevyyn kytketään 5 V:n jännite USB-väylän kautta ja tarkistetaan, että kaikki osat saavat virtaa.





Kuva 15. Valmis prototyyppi kytkettynä 5 V:n jännitteeseen

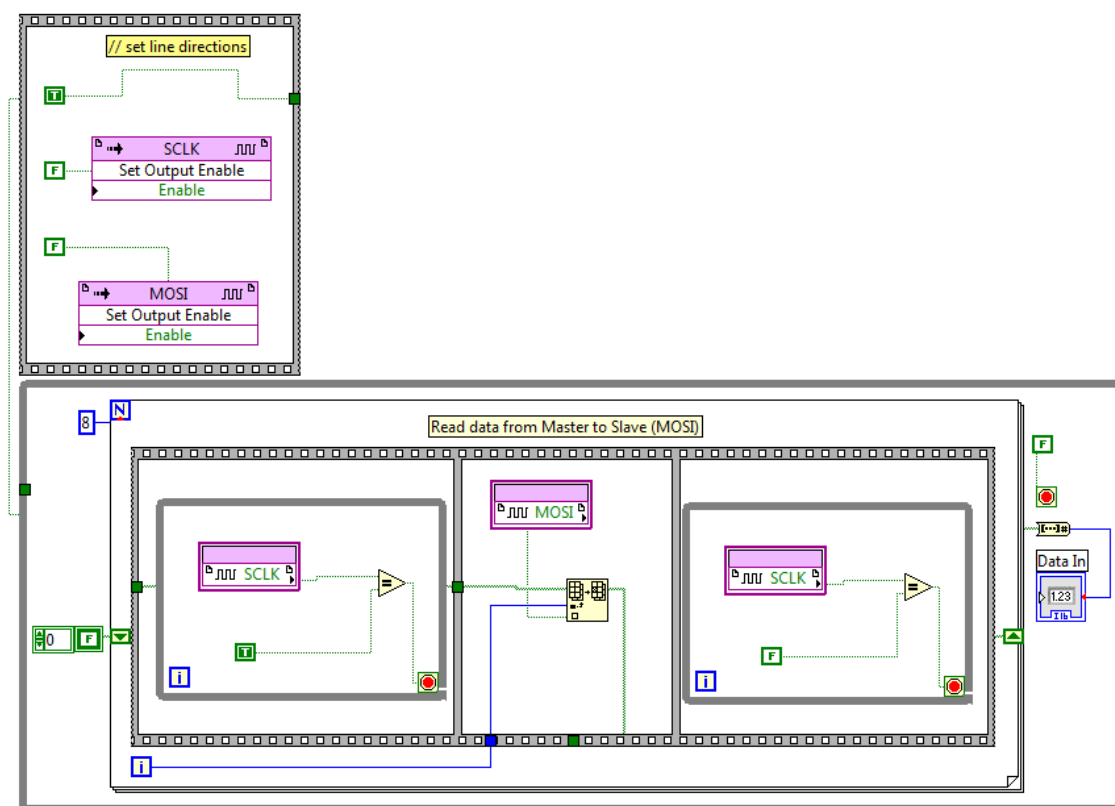
Kuvassa 15 on esitetty valmis piirilevy. Kytkenöt vaikuttavat toimivilta ja piirilevy voidaan nyt liittää osaksi robottia. Mbedille ladataan insinööriopiskelija Elmo Ahon tekemä http-serveri, ja robotin muistiin ladataan robotin ohjelmisto.

## 7 Robotin ohjelmisto

Ohjauskomentojen vastaanottamiseksi SPI-väylästä tarvitaan robotin FPGA-piirille virtuaali-instrumentti. Instrumentin tehtävänä on vastaanottaa 8-bittinen ohjauskomento SPI-väylästä, muuntaa se numeeriseen muotoon ja välittää se eteenpäin pääohjelmalle.

Instrumentissa alustetaan ensimmäiseksi SPI-väylän -nastat. Kellosignaali (*SCLK*) ja data sisään -nasta (*MOSI*) alustetaan sisääntuloiksi. Data ulos -nastaa (*MISO*) ei alusteta ollenkaan, koska sitä ei tässä projektissa käytetä. Seuraavaksi ohjelmassa luodaan ikuinen silmukka, jossa odotetaan MBED-mikrokontrollerimoduulilta tulevaa kellosignaalia. Vastaanotettaessa kellosignaalin ohjelma vastaanottaa yhden 8-bittisen

kehyksen ohjausdataa. Tämän jälkeen vastaanotettu ohjausdata siirretään ilmaisimelle (*Data In*), josta pääohjelma lukee sen. Kuvassa 16 esitetään FPGA-piirin virtuaali-instrumentti:



Kuva 16. FPGA-piirin SPI-väylän virtuaali-instrumentti

Seuraavaksi tehdään muutoksia robotin pääohjelmaan. Siinä suoritetaan aluksi robotin käytön edellyttävät alustukset. Niihin kuuluvat ultraäänisensorin kääntäminen eteenpäin sekä FPGA-piirille ladattava tiedosto, jonka avulla moottoreihin ja ultraäänisensoriin saadaan yhteys. Tämän jälkeen pääohjelmassa suoritetaan ikuista silmukkaa, jossa odotetaan ohjauskomentoja. Pääohjelman alkuperäisten manuaalisten ohjauskytkinten tilalle lisätään valintarakenne. SPI-väylästä vastaanotettu numeerinen ohjauskomento tuodaan valintarakenteelle, joka valitsee oikeat toimenpiteet jokaiselle vastaanotetulle ohjauskomennolle. Robotin manuaaliset ohjauspainikkeet siis korvataan ohjelmallisesti.

SPI-väylä saatiin testeissä toimimaan erinomaisesti ilman pääohjelmaa. Digitaalisia ajoitusongelmia ei ilmennyt ja 8-bittinen ohjauskomento saatiin tulkittua oikein. Pääohjelmiston testauksen aikana kohdattiin kuitenkin suuria ongelmia. Robotin erilliset sisäiset ohjelmistot tulee aina päivittää samoihin versioihin, jotka ovat ohjelmistoa tehtävällä

tietokoneella. Robotissa on LabVIEW 2011 -versio ja uusi ohjelmisto on tehty LabVIEW 2012 -versiolla. Robotin päivittämisen jälkeen todettiin, että alkuperäinen innovaatio-projektin ohjelmisto ei toimi LabVIEW 2012 -versiolla. Ohjelman koodia ei voida suorittaa ja se valittaa puuttuvista virtuaali-instrumenteista. Pitkien korjausyritysten jälkeen todettiin, että ainoa keino saattaa robotin koodi toimimaan, on suorittaa ohjelmistomuutokset vanhalla LabVIEW 2011 -versiolla.

Ohjelmistoversion takaisinpäivityksessä kohdattiin myös ongelmia. Suurin osa oppilaitoksen tietokoneiden LabVIEW-versioista on päivitetty vuoden 2012 -versioon. Joistakin oppilaitoksen tietokoneista löytyy kuitenkin vielä LabVIEW 2011 -versio. Robottiin päivitettiin vanha LabVIEW 2011 -versio takaisin ja SPI-väylän -koodi sekä pääohjelma saatiin jälleen toimimaan erillään.

Ohjelmiston testauksessa törmättiin jatkuvasti ongelmiin FPGA-piirin kanssa. Robotin pääohjelma ja SPI-väylän -koodi eivät toistuvista yrityksistä huolimatta suostuneet toimimaan samaan aikaan. Ongelmaa selvitettiin ja huomattiin, että robotin pääohjelmisto käyttää valmiiksi FPGA-piiriä. FPGA-piirille ladattavaa pääohjelman käyttämää tiedostoa ei ole mahdollista muokata helposti. Tästä johtuen FPGA-piirille tehtyä SPI-koodia ei voi käyttää ollenkaan.

SPI-väylää yritettiin vielä toteuttaa alkuperäisen ohjelmiston pääohjelmaan. National Instrumentsin robotics-ohjelmistossa on virtuaali-instrumentti, jolla voidaan suoraan lukea Single-Board RIO 9631 -piirikortin portin 3 DIO-nastoja. Instrumentin nimi on *Read DIO Line* ja sen käyttö edellyttää alkuperäisen ohjausohjelmiston käyttöä. Ohjelmisto saatiin pyörimään, mutta lopulliseksi ongelmaksi muodostui datan lukeminen SPI-väylästä. Pääohjelman *Read DIO Line* -virtuaali-instrumenttiä ei voida suorittaa tarpeeksi nopeasti. SPI-väylästä ehditään lukemaan vain ensimmäinen kellopulsssi. Seuraavia kellopulsseja ja samaan aikaan tulevaa 8-bittistä ohjausdataa ei ehditä lukea ollenkaan. Ohjelmistoa yritettiin nopeuttaa jättämällä ainoastaan SPI-väylän -koodi jäljelle, mutta sisään tulevaa dataa ei siltikään ehditä lukemaan.

## 8 Lopputulokset

Tämän insinööritoiminnan tavoitteena oli kehittää National Instrumentsin robotista langaton versio, jota voitaisiin ohjata millä tahansa laitteella, jossa on WiFi-yhteys ja nettiselain. Tavoitteeseen pääsy edellyttäisi toimivaa langatonta yhteyttä robotin ja ohjaavan

laitteen välillä, sekä robotin ohjelmiston muokkausta. Työn toteutuksessa käytettäisiin MBED-mikrokontrollerimoduulia ja WiFly-WiFi -moduulia.

Työssä tutustuttiin aluksi robotin Single-Board RIO 9631 -piirikorttiin ja sen toimintaan. Piirikortin tietojen perusteella päätettiin käyttää yhteyskäytäntönä SPI-väylää mbed:n ja robotin piirikortin välillä.

Ensimmäiseksi robotille suunniteltiin piirilevy, joka sisälsi mbed-mikrokontrollerimoduulin ja WiFly WiFi -moduulin. Suunnittelussa onnistuttiin hyvin ja ensimmäinen versio piirilevystä toimi moitteettomasti. MBED-mikrokontrollerimoduuliin lisättiin tämän jälkeen insinööriopiskelija Elmo Ahon tekemä http-serveri, jonka avulla saavutettiin toimiva langaton yhteys MBED-mikrokontrollerimoduulin ja ohjaavan laitteen välille.

Tämän jälkeen robotin ohjelmistoa muokattiin niin, että SPI-väylältä tulevat ohjauskomennot saataisiin pääohjelmalle. Ensimmäiseksi ongelmaksi muodostui robotin FPGA-piiri, jonka kautta tulevia ohjauskomentoja oli tarkoitus lukea. FPGA-piirillä ei voi käyttää omaa sovellusta, mikäli alkuperäinen ohjausohjelmisto on käytössä. Robottia pystytään liikuttamaan vain alkuperäisen ohjausohjelmiston avulla ja tästä johtuen oman FPGA-sovelluksen käytöstä jouduttiin luopumaan.

SPI-väylää yritettiin seuraavaksi toteuttaa robotin pääohjelman puolelle. Ongelmaksi muodostui nyt DIO-nastoja lukevan virtuaali-instrumentin hitaus. Ongelmaa yritettiin ratkaista poistamalla pääohjelmasta kaikki muu paitsi SPI-väylän luku. Nopeus ei ollut riittävä silloinkaan. SPI-väylän nopeus pudotettiin vielä 10 KHz:iin 1 MHz:stä, mutta nopeus ei ollut vielääkään riittävä. Ohjelmiston hitaudesta johtuen tämän insinööritöiden tavoitteeseen ei päästy.

Projektia voitaisiin tulevaisuudessa jatkaa vaihtamalla robotti uuteen 2.0-versioon. Opilaitoksella ei kuitenkaan vielä ole uudempaa versiota robotista. Uudemmassa versiossa ohjelmiston FPGA-koodia pystytään muokkaamaan ja näin ollen SPI-väylä voitaisiin toteuttaa robotin FPGA-piirille. Toisena vaihtoehtona voitaisiin SPI-väylän nopeutta tiputtaa ohjelmallisesti sekä muokata robotin ohjelmistoa nopeammaksi. SPI-väylän nopeuden tiputtaminen todella alhaiseksi saattaa myös lisätä ohjausviivettä merkittävästi, mikä ei ole robotin ohjauksen kannalta suotavaa. Näitä toimenpiteitä ei kuitenkaan ehditty aikataulun puitteissa toteuttaa.

## 9 Robotin jatkokehitys

Robotille on pohdittu jatkoprojektia myös liikesensorin parantamiseksi. Tässä projektissa robotissa oli käytössä hidas ultraäänisensori. Anturista tekee hitaan se, että anturia tarvitsee liikutella sivuttain edestakaisin esteiden havaitsemiseksi.

Robotin ultraäänianturin tilalle on saatavilla uudemman sukupolven liikeanturi. Kyseessä on Kinect-liikeanturi. Sama anturi on Microsoftin xbox-pelikonsolin lisälaittevalikoimassa. Robotille voitaisiin toteuttaa anturin avulla huomattavasti tarkempi konenäkö. Kinect-sensoria ei tarvitse liikutella edestakaisin vaan esteistä saadaan 3d-kuva ilman sensorin liikuttelua. Anturi sisältää rgb-kameran sekä syvyys-sensorin. Näiden avulla pystytään luomaan paljon tarkempaa kuvaa kuin ultraäänisensorilla. Kinect-sensorilla on 57 asteen poikittaisnäkö ja 43 asteen pystynäkö.

Robotin jatkoprojekti sisältää mahdollisesti Kinect-sensorin kiinnityksen tutkimista ja toteuttamista. Ohjelmistoon joudutaan myös tekemään paljon muutoksia, jotta Kinect-sensori ja automaattinen ohjaus saadaan toimintakuntoon. Robottiin voitaisiin lisäominaisuutena toteuttaa myös sensorikuvan siirtäminen ohjaavalle laitteelle. Esimerkiksi puhelimen näytöltä näkyisi reaaliaikaisesti Kinect-sensorin välittämä kuva. Robottia voitaisiin ohjata koskettamalla reaaliaikaista kuvaa, jolloin robotti kääntyisi koskettuun suuntaan. Robottiin ei tällöin tarvitsisi olla näköyhteyttä, jotta sen järkevä ohjaaminen olisi mahdollista. Tämän lisäominaisuuden toteuttaminen vaatii kaksisuuntaisen tiedonsiirron, jota ei tässä insinööriyössä toteutettu. Tiedonsiirron kapasiteetti ja nopeus saattavat myös osoittautua haasteellisiksi ja niiden rajoituksia tulee tutkia ja testata. Reaaliaikaisessa sensorikuvan siirrossa tulee ottaa huomioon myös viive. Mikäli viive on merkittävä, tulee jatkoprojektissa miettiä onko sensorikuvan siirto hyödyllistä toteuttaa.

## Lähteet

- 1 What is LabVIEW?. Verkkodokumentti.  
<<http://sine.ni.com/np/app/main/p/docid/nav-104/lang/fi/fmid/1762/>>. Luettu 21.3.2013.
- 2 TX-mittausten automatisointi LabVIEW-ohjelmalla. Opinnäytetyö. Verkkodokumentti.  
<[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26308/Markus\\_Tormanen.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26308/Markus_Tormanen.pdf?sequence=1)>. Luettu 21.3.2013.
- 3 FPGA. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/FPGA>>. Luettu 20.3.2013.
- 4 NI robo loppuraportti. Innovaatiprojektin loppuraportti.
- 5 SPI. Verkkodokumentti. <<http://www.epanorama.net/links/serialbus.html>>. Luettu 8.4.2013.
- 6 UART. Verkkodokumentti.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Universal\\_asynchronous\\_receiver/transmitter](http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver/transmitter)>. Luettu 8.4.2013.
- 7 <https://mbed.org/media/img/boardlogos/lpc1768/pinout.png>
- 8 Mbed. Verkkosivu. <<https://mbed.org/>>. Luettu 9.4.2013.
- 9 Räisänen A. & Lehto A. 2011. Radiotekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto.
- 10 <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/12/SpektriOP.gif>.
- 11 Sähkömagneettinen säteily. 1998. Verkkodokumentti.  
<<http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/12/teoria.shtml>>. Luettu 18.3.2013.
- 12 [http://www.dfrobot.com/image/cache/data/TEL0058/\\_IGP2724-600x600.jpg](http://www.dfrobot.com/image/cache/data/TEL0058/_IGP2724-600x600.jpg)
- 13 Granlund Kaj. 2007. Tietoliikenne. Porvoo: WS Bookwell